IPA Software Engineering Center
Information-technology Promotion Agency, Japan

ESTA
Embedded System Testing Reference Guide

JASA主催IPA共催セミナー　（ET2012）2012年11月16日

組込みソフトウェアテスト事例集の紹介
組込みソフトウェア開発における品質向上の勧め
［テスト編～事例集～］

独立行政法人 情報処理推進機構（IPA）
技術本部 ソフトウェア・エンジニアリング・センター(SEC)

組込み系プロジェクト
研究員　石井　正悟
研究員　石田　茂

Copyright© 2012 Information-technology Promotion Agency, Japan. All rights reserved.

組込みソフトウェアテスト事例集

Practical Testing Examples

SEC
Software Engineering for Mo·No·Zu·Ku·Ri

新刊

Recommendations for Improvement of Quality of Embedded Software Development [w/ Practical Testing Examples]

2012年11月12日発行

書籍：

A5判、100ページ

定価500円（税込）

pdf版：

http://sec.ipa.go.jp/publish/index.html#emb

無償

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

目次

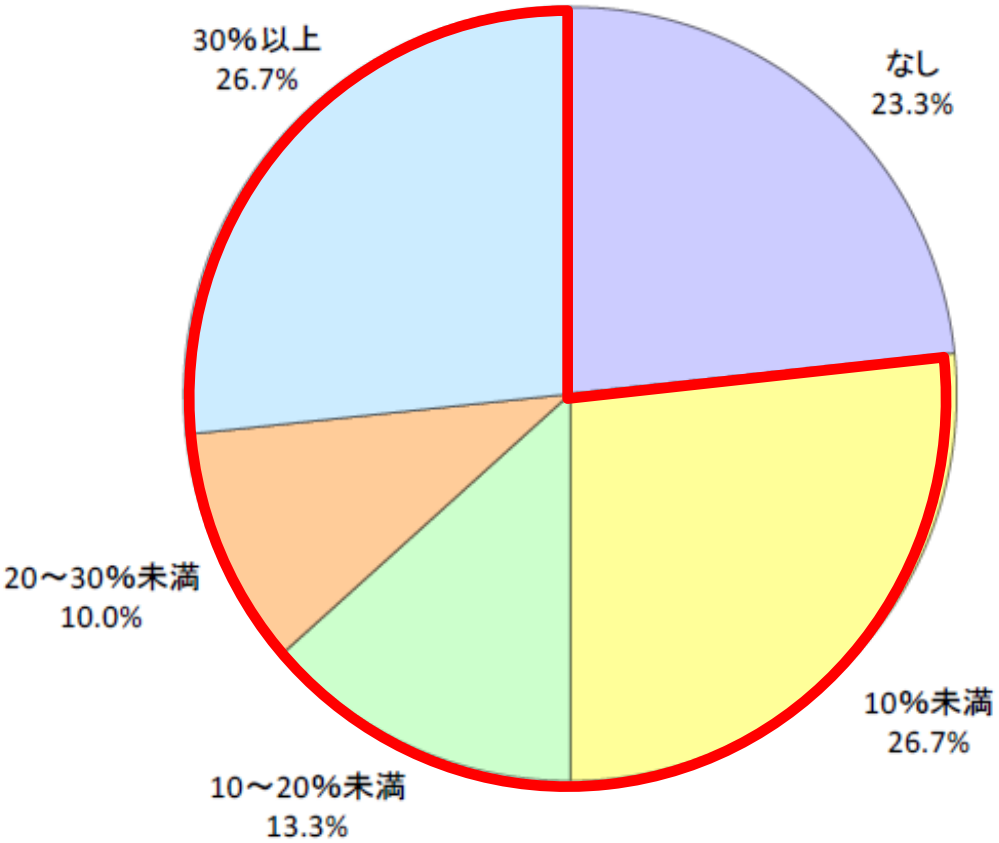
1. テストの重要性と課題
    1. 組込みシステムの不具合発生状況(産業実態把握調査)
    2. 組込みソフトウェアのテスト実態調査結果
2. テスト事例集のコンセプト
3. テスト事例集の特徴
4. テスト事例集の構成
5. 利用方法
6. 事例紹介

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

1.1 組込みシステムの不具合発生状況-1

2012年版組込みソフトウェア産業実態把握調査報告書

不具合発生製品率



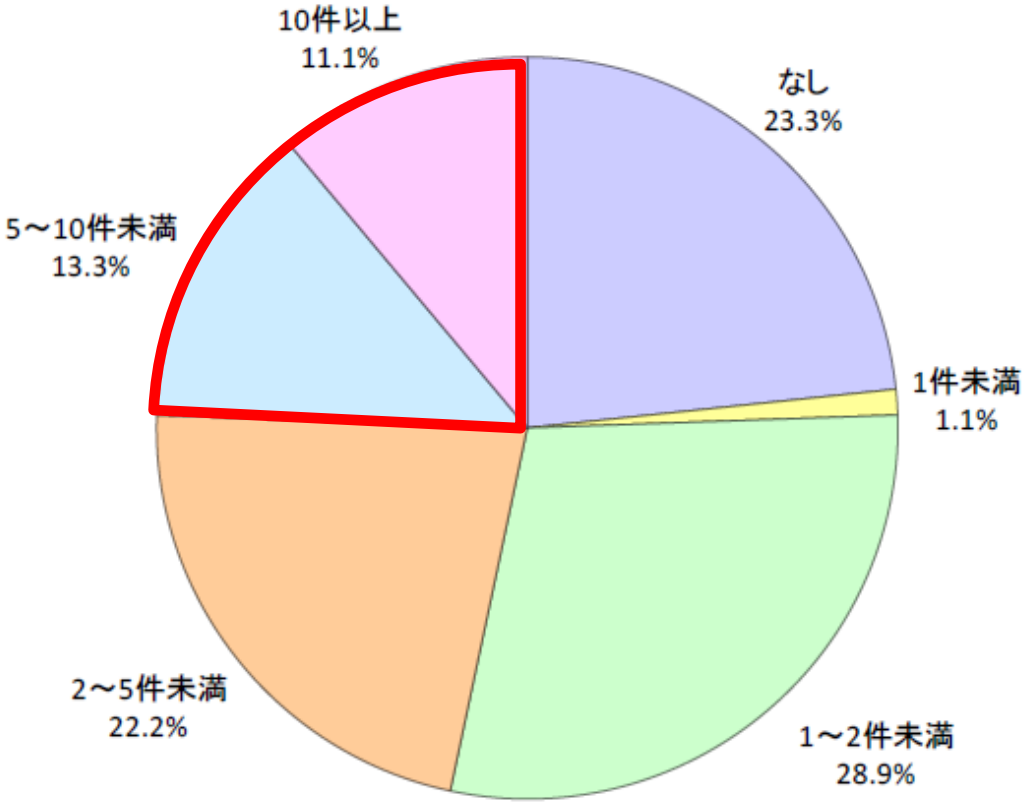
75%以上の製品で出荷後に不具合発生

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

1．1　組込みシステムの不具合発生状況-2

2012年版組込みソフトウェア産業実態把握調査報告書

1製品当たりの不具合発生件数



不具合発生5件以上が25％弱

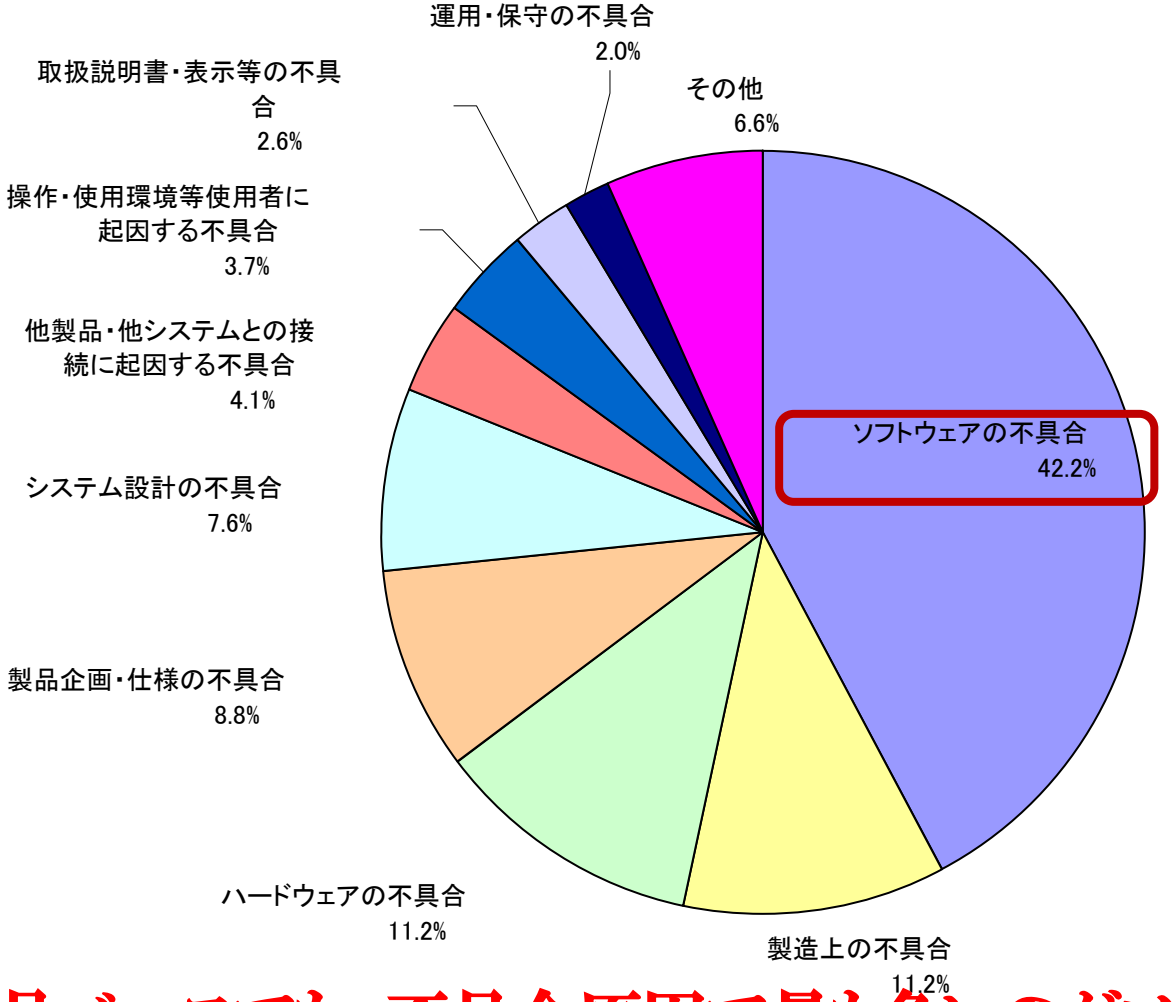
Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

1.1 組込みシステムの不具合発生状況-3

SEC
Software Engineering for Mo·No·Zu·Ku·Ri

2011年版組込みソフトウェア産業実態把握調査報告書

出荷後の不具合原因(製品ベース)



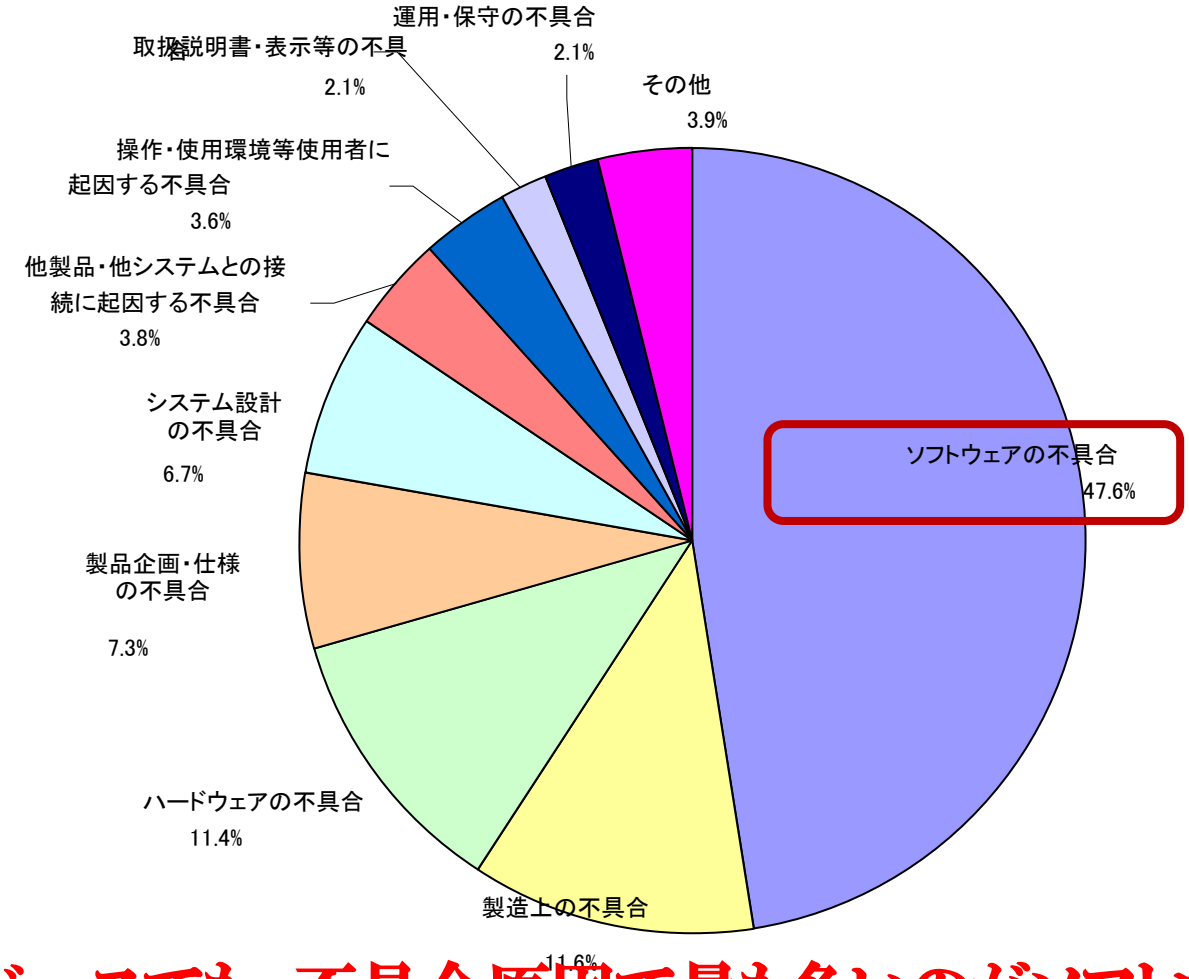
製品ベースでも、不具合原因で最も多いのがソフトウェア不具合

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

1.1 組込みシステムの不具合発生状況-4

2011年版組込みソフトウェア産業実態把握調査報告書

出荷後の不具合原因(件数ベース)



件数ベースでも、不具合原因で最も多いのがソフトウェア不具合

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

1．2　組込みソフトウェアのテスト実態調査結果

問題（アンケートで多かった回答）

①	• 多くの時間・コストがかかる	→ 価格競争力低下
②	• 単体・結合テストが不十分	→ 総合テストにしわ寄せ
③	• テストに頼った品質保証	→ 設計を圧迫、テスト中心開発
④	• 過度の品質を求められる	→ 価格競争力低下
その他	• 先進的テスト手法の取り込み不足 • デグレードが発生する • テストエンジニアの質が上がらない • テストケースが作れない	

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

課題（アンケート、ヒアリングの結果）

必要だが、無いと考えているもの

① ・テスト十分性を評価する尺度

1．現実的な品質とコストのバランスのとり方
2．開発現場の事情・状況に即した、
3．『実用的』な標準、基準とその策定の考え方
4．手法の『実用的』な活用方法、勘所

⑤ ・テスト工程毎の目的・範囲の標準

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

IPAへの期待（アンケート、ヒアリングの結果）

標準や基準と、その基本となる考え方が欲しい

汎用的な解はなさそう。
理論的な解はあっても、実用的な解はない。
　⇒事例を参考にしたい。

自社の事例は出せないが、他社の事例は欲しい

自社のテスト基準や考え方を開示すると、
ネガティブキャンペーンに使われかねない
⇒他社とベンチマークして自社の妥当性を評価したい

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

目次

1. テストの重要性と課題
2. **テスト事例集のコンセプト**
   1. **取り組むべき課題**
   2. **前提**
   3. **対象領域**
   4. **ESxRシリーズにおける位置付け**
3. テスト事例集の特徴
4. テスト事例集の構成
5. 利用方法
6. 事例紹介

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

2．1　取り組むべき課題について

- アンケート／インタビュー結果をIPA/SECにて分析・検討し、抽出した課題
  - テストの役割
  - 時間・コストの認識
  - 過度のテスト依存（弊害と限界の認識）
  - テスト十分性の指標・基準値がない
  - 効率的かつ現実的なテスト手法・技法がない

しかし、
課題は多岐に渡り、
課題に対する解決策も一様ではない。

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

2．2　前提

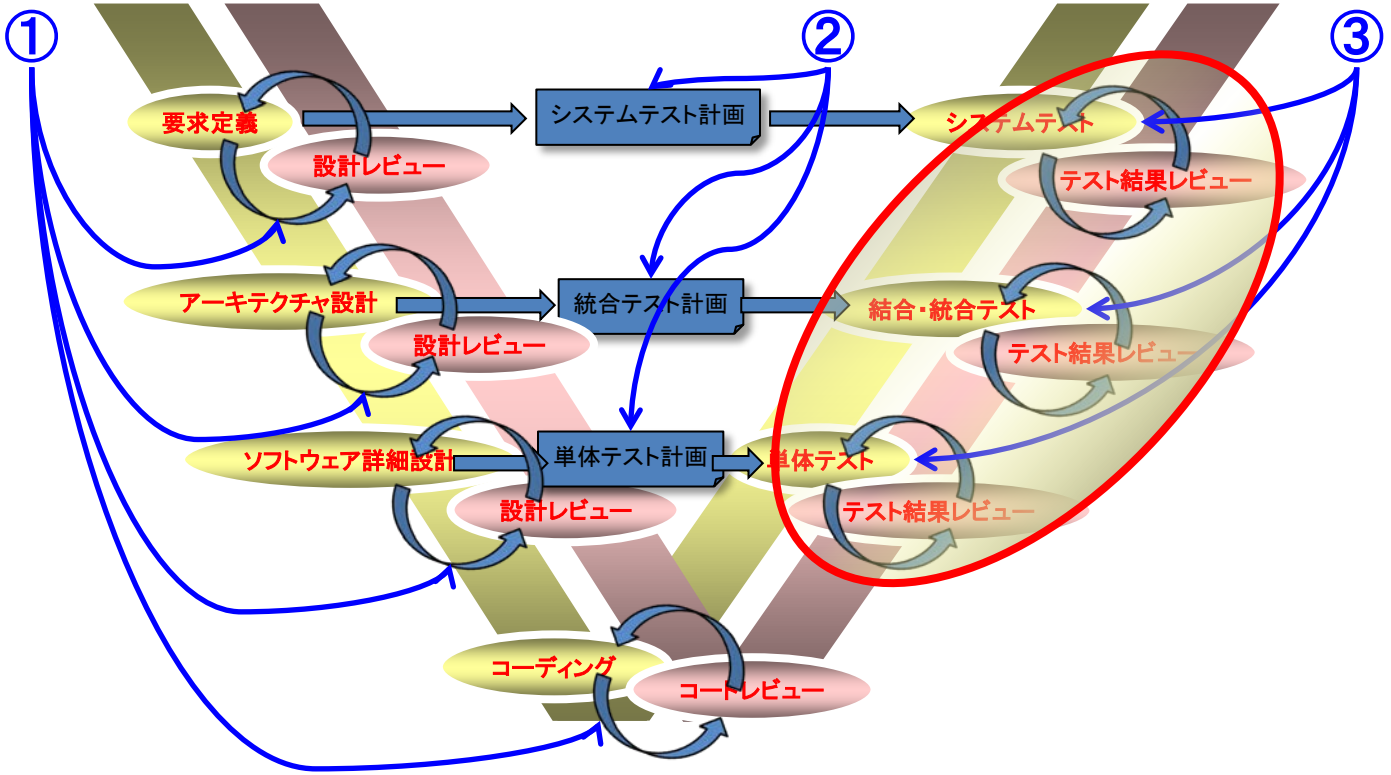
- いくらテストしても、バグ0にはならない
- テスト偏重による弊害がある
- 品質とコストのバランスが必要

この前提のもとに、
先進企業の成功･効果事例を収集し、
公開可能な表現に加工し、
事例集として発行する。

組込み開発リファレンスという位置付けのESTR（*Embedded System development Testing Reference*）とはせず、その前段の事例集とした。

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

2．3　対象領域



W字モデルにおけるV&V（Verification & Validation）には①・②・③があるが、本書では狭義のテスト工程の③を対象とした

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

2．4　ESxRシリーズにおける位置付け

SEC
Software Engineering
for Mo·No·Zu·Ku·Ri

For Embedded
Software
Development

組込みソフトウェア開発技術リファレンス

ESxR

Embedded System development exemplar Reference

Series

品質の高いソフトウェアを作るにはどのような作業をどのように進めたらよいのでしょうか？
ソフトウェア開発の作業や品質を見えるようにするにはどのようにしたらよいのでしょうか？
ESxRシリーズは、こんな疑問に答えるためのソフトウェア開発に関する標準リファレンスです。

IPA Software Engineering Center
Information-technology Promotion Agency, Japan

ESxR Embedded System development exemplar Reference

プログラムへ品質を作り込む

ESCR P4
Embedded System development
Coding Reference guide
組込みソフトウェア実装時にソースコードの品質を向上させるためのコーディングルールなどを作法として整理しました

開発プロセスを整備する

ESPR P6
Embedded System development
Process Reference guide
高品質なソフトウェアを開発するための作業や手順を、標準的な開発プロセスとして整理しました

プログラム計画書を洗練する

ESMR P8
Embedded System development
Management Reference guide
チームやプロジェクトでソフトウェアを開発する際には不可欠な開発計画書の記述内容や記述フォームを整理しました

品質を計測しコントロールする

ESQR P10
Embedded System development
Quality Reference guide
ソフトウェアの品質や開発作業の質を見える化し、客観的に評価改善するための品質定量化の指標や考え方を整理しました

現場のノウハウを設計に活かす

ESDR P12
Embedded System development
Design Reference guide
現場の問題意識を反映した事例をもとに、様々な設計場面でのノウハウを経験の浅い設計者でも利用しやすい形に整理し提示しました

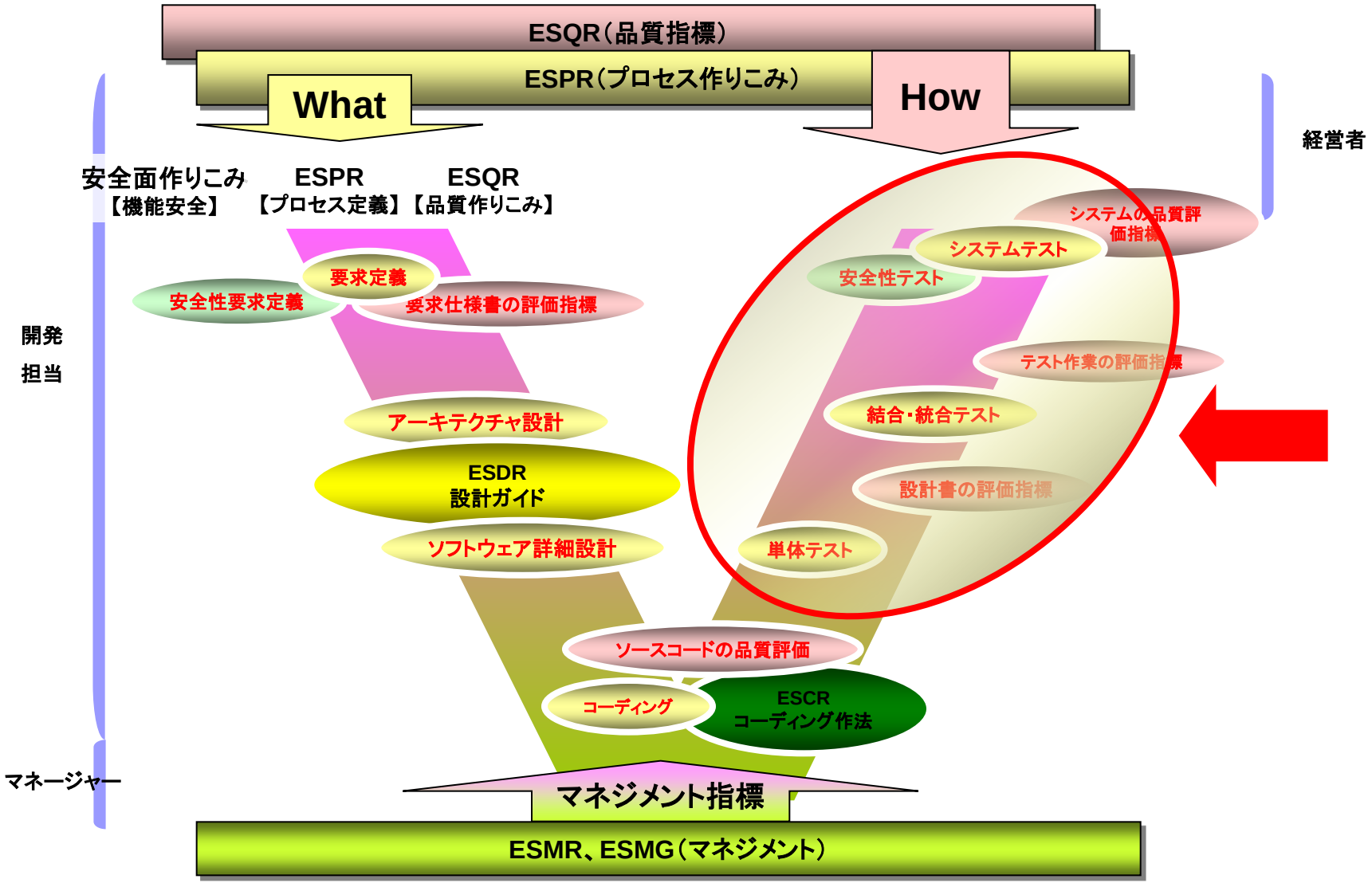
V&V改善を実践する

ESTR P14
Embedded System development
Testing Reference guide
リファレンスとしてのESTR策定に向けて、先進企業におけるV&V改善の実践事例を読みやすくまとめました

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

2．5　ESxRシリーズにおける位置付け

SEC
Software Engineering
for Mo･No･Zu･Ku･Ri



Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

目次

1. テストの重要性と課題
2. テスト事例集のコンセプト
3. **テスト事例集の特徴**
4. テスト事例集の構成
5. 利用方法
6. 事例紹介

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

３　テスト事例集の特徴

SEC
Software Engineering
for Mo･No･Zu･Ku･Ri

- 先進企業の実開発現場における成功･効果事例
- 組込みソフトウェアのテスト品質向上、テスト効率化の考え方･ノウハウを整理

- 実際の開発現場より成功･効果事例を収集して加工
- テスト指標･十分性判断基準･手法等を紹介（36事例）
- 実際の具体的事例を平易な解説で分かりやすく説明
- 定型フォーマット、Column、用語集付きで記述

業界のテストに関する実態を事例を用いて紹介。
企業の中にある100PJのうち1つの成功PJや研究成果を紹介するのではなく、残り99PJの実態を紹介し、自社とのベンチマークができる事例を収録した。

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

目次

1. テストの重要性と課題
2. テスト事例集のコンセプト
3. テスト事例集の特徴
4. **テスト事例集の構成**
    1. **3つのPartで36事例を解説**
    2. **目次**
    3. **各項の構成**
5. 利用方法
6. 事例紹介

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

4．1　3つのPertで36事例を解説

SEC
Software Engineering for Mo·No·Zu·Ku·Ri

【事例構成】3つの視点で36事例を分類

Part 1.　テストの役割と限界　　19種

- テストの役割　（テストの実施方法、考え方・・・）
- テストの限界　（効率的なテスト方法・・・）
- 基準値·目標値·終了条件　（尺度等の標準化・・・）

Part 2.　テストへの要求と対応状況　　8種

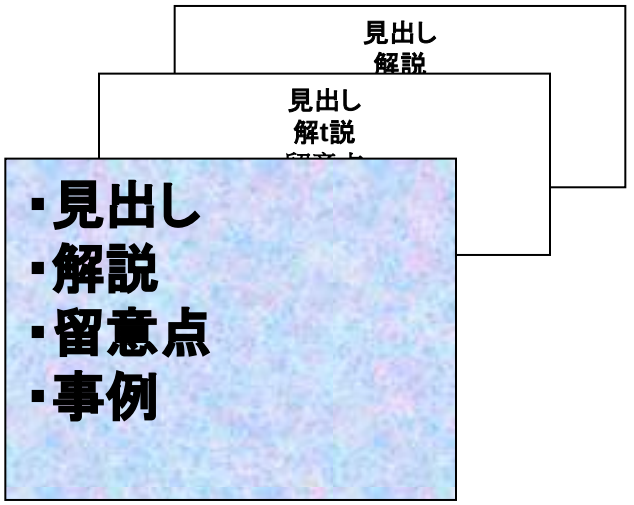
- ツール活用　（効率化のためのツール活用・・・）
- 公的機関における基準　（公的機関基準等の活用）

Part 3.　テストの基本的テクニック　　9種

- テスト技術·技法の分類　（項目十分性の追及・・・）
- 環境　（性能測定環境不可・・・）
- 教育　（ユーザ視点教育・・・）

【事例記述構成】

個別課題と対策事例を整理



Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

SEC
Software Engineering
for Mo·No·Zu·Ku·Ri

コンセプトシートの成果物イメージ案に沿った目次

Part 1 テストの役割と限界 9

1.1 テストの役割
1.1.1 テストの目的と位置付けの明確化 ……10
1.1.2 単体テスト容易性の向上 ……12
1.1.3 模擬環境と実機環境の相互補完 ……15
1.1.4 ソフトウェアタイプに応じたテスト項目チェックリスト ……18
1.1.5 結合テスト項目抽出のための３つの基本方針 ……21
1.1.6 差分開発での影響範囲解析への構造解析ツール活用 ……23

1.2 テストの限界
1.2.1 リグレッションテスト資産の蓄積と応用 ……25
1.2.2 重複、無駄、漏れを回避する総合テスト設計 ……27
1.2.3 戦略的テストスケジューリング ……29
1.2.4 コードカバレッジの目標と終了条件 ……32

1.3 基準値・目標値・終了条件
1.3.1 ソースコード行数の数え方 ……34
1.3.2 関係者との合意に基づく目標値設定 ……37
1.3.3 コストとのバランスを考慮したテスト項目抽出 ……39
1.3.4 総合テスト開始判断基準 ……41
1.3.5 段階付き合否判断基準 ……43
1.3.6 テストフェーズ移行判断基準の統一 ……45
1.3.7 達成不可能なコードカバレッジ基準とその終了可否判断 ……47

1.4 テスト管理
1.4.1 テスト効率向上のための戦略的テストシナリオ作成 ……49
1.4.2 テスト管理における問題の見える化 ……51

Part 2 テストへの要求と対応状況 55

2.1 ツール活用
2.1.1 テスト実行支援ツールの使い分け ……56
2.1.2 テスト管理ツールの統一 ……58
2.1.3 ツールのポータル化 ……61
2.1.4 ツールチェーン ……63
2.1.5 標準ツール選定とガイドライン制定 ……66
2.1.6 特徴の異なる静的解析ツールの使い分け ……67
2.1.7 Android 開発での模擬環境と実機環境の使い分け ……69

2.2 公的機関における基準
2.2.1 公的機関における基準 ……71

Part 3 テストの基本的テクニック 73

3.1 テスト技術・技法の分類
3.1.1 単体テストの観点に対応したテスト技法 ……74
3.1.2 同値分割、境界値分析手法の活用 ……76
3.1.3 加速度テストの目的と適用上の注意事項 ……78
3.1.4 合意に基づいた非機能テスト項目抽出 ……80
3.1.5 複数因子間組み合わせの勘所 ……82
3.1.6 モデル図を用いたテスト項目抽出手法 ……85

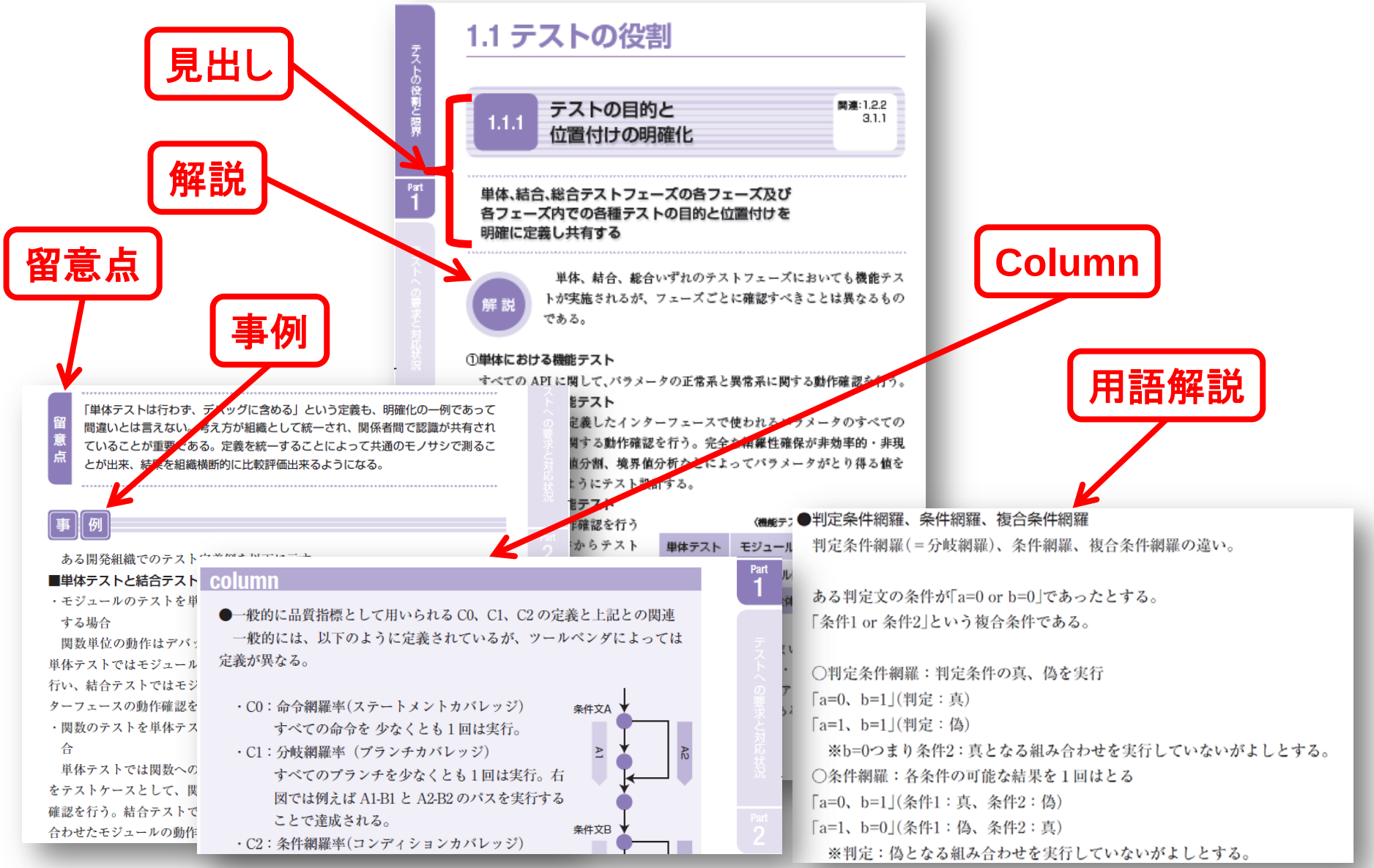
3.2 環境
3.2.1 性能評価環境がそろわない状況での性能評価 ……87

3.3 教育
3.3.1 テストに関する体系的教育カリキュラム例 ……89
3.3.2 テクニックと共に V&V の考え方の理解が必要 ……92

付録 ……93

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

4．3　各項の構成



Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

4．3　各項の構成

SEC
Software Engineering
for Mo･No･Zu･Ku･Ri

見出し	各事例での対策における基本的な考え方、あるいは重要事項を端的に記述
解説	開発現場で実践されている事例の内容を図表などを用いて解説
留意点	留意すべき点、関連するトピックを記述
事例	実際の具体例をポイントを示しながら、公開可能な表現で記述
Column	事例解説に関連した事項を記述
用語解説	本書で頻繁に用いる用語や勘違いしやすい用語を解説

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

目次

1. テストの重要性と課題
2. テスト事例集のコンセプト
3. テスト事例集の特徴
4. テスト事例集の構成
5. **利用方法**
6. 事例紹介

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

5　利用方法

本事例集はベストプラクティス集ではないので、次のような場合に利用していただくことを想定しました

- 論理的に妥当性を証明し難い「当たり前」の裏付け
- 自社の場合と比較して、自社の取り組みを評価
- 自社の基準・標準を設定する際の参考
- 自社の基準・標準の妥当性を議論するきっかけ

事例に対して異論もあるかと思います。
「派生開発には使えない」、「PJ毎に事情が異なる」・・・

大いに議論していただけるきっかけになれば幸いです。
また、事例は事実に基づいています。

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

目次

1. テストの重要性と課題
2. テスト事例集のコンセプト
3. テスト事例集の特徴
4. テスト事例集の構成
5. 利用方法
6. **事例紹介**
    1. **Part 1　テストの役割と限界**
    2. **Part 2　テストへの要求と対応状況**
    3. **Part 3　テストの基本的テクニック**

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

1.4 テスト管理

1.4.1 テスト効率向上のための戦略的テストシナリオ作成

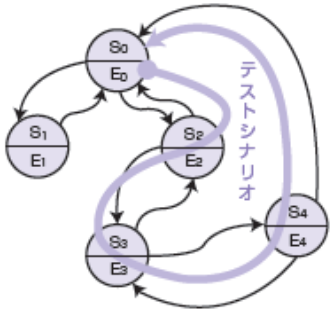
関連：1.2.1 1.2.3

組込みシステムでは異常系のテストケースが多く再現に手間がかかるケースも多いため、テスト項目同志の繋がりを考慮したテストシナリオを考えるなど効率よくテストするための工夫をする。

解説

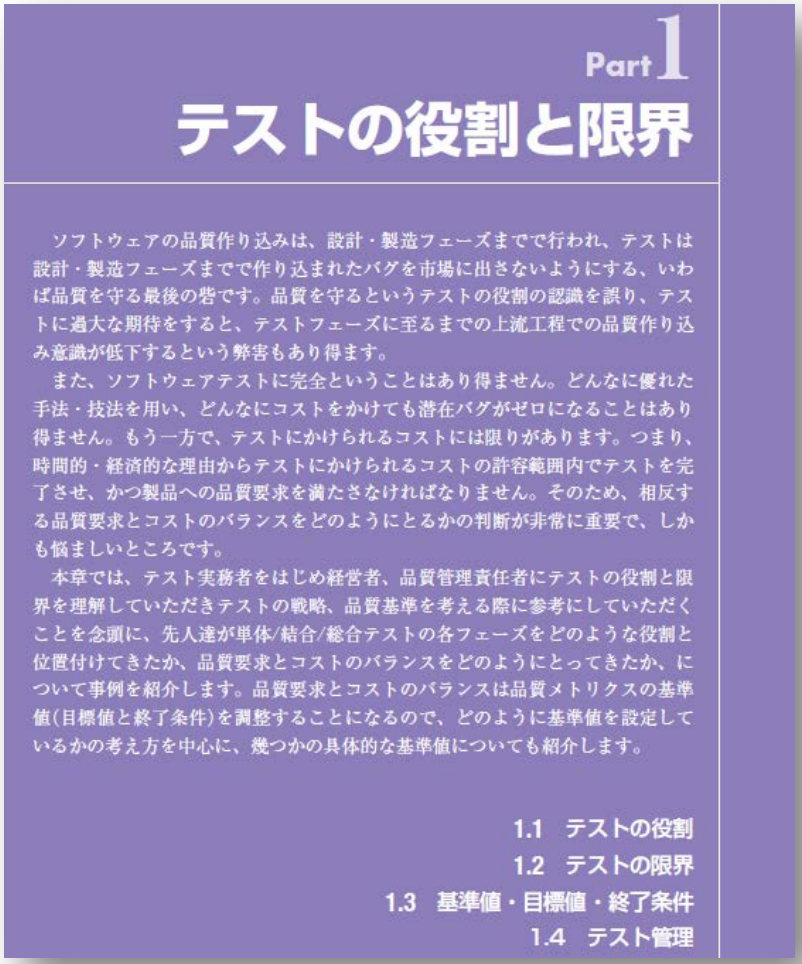
組込みシステムの特徴として、ハードウェア異常検出やリトライ、リカバリなどの異常系処理が処理全体の大半を占めている。テストのためには、それら多くの異常状態を再現させる必要があるが、必ずしも再現は容易ではない。そこで、再現手順を容易にするための工夫と同時に再現手順の回数を削減させる工夫も、テスト効率化に有用である。

テスト実施に必要な状態とするための前処理に手間がかかったり、その状態にすること自体が困難なテストケースでも、テストシナリオによっては一連の作業の中で容易に作り出せることがある。テスト環境やテスト対象の状態がテストシナリオに合わせて変化していくので、シナリオに沿ってテストを行うことにより自ずと目的の状態になるというケースである。



 Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

SEC
Software Engineering
for Mo·No·Zu·Ku·Ri



Part 1

テストの役割と限界

ソフトウェアの品質作り込みは、設計・製造フェーズまでで行われ、テストは設計・製造フェーズまでで作り込まれたバグを市場に出さないようにする、いわば品質を守る最後の砦です。品質を守るというテストの役割の認識を誤り、テストに過大な期待をすると、テストフェーズに至るまでの上流工程での品質作り込み意識が低下するという弊害もあり得ます。

また、ソフトウェアテストに完全ということはあり得ません。どんなに優れた手法・技法を用い、どんなにコストをかけても潜在バグがゼロになることはあり得ません。もう一方で、テストにかけられるコストには限りがあります。つまり、時間的・経済的な理由からテストにかけられるコストの許容範囲内でテストを完了させ、かつ製品への品質要求を満たさなければなりません。そのため、相反する品質要求とコストのバランスをどのようにとるかの判断が非常に重要で、しかも悩ましいところです。

本章では、テスト実務者をはじめ経営者、品質管理責任者にテストの役割と限界を理解していただきテストの戦略、品質基準を考える際に参考にしていただくことを念頭に、先人達が単体/結合/総合テストの各フェーズをどのような役割と位置付けてきたか、品質要求とコストのバランスをどのようにとってきたか、について事例を紹介します。品質要求とコストのバランスは品質メトリクスの基準値(目標値と終了条件)を調整することになるので、どのように基準値を設定しているかの考え方を中心に、幾つかの具体的な基準値についても紹介します。

1.1　テストの役割
1.2　テストの限界
1.3　基準値・目標値・終了条件
1.4　テスト管理

テストは最後の砦

テスト偏重による弊害

限界：バグ0にはならない

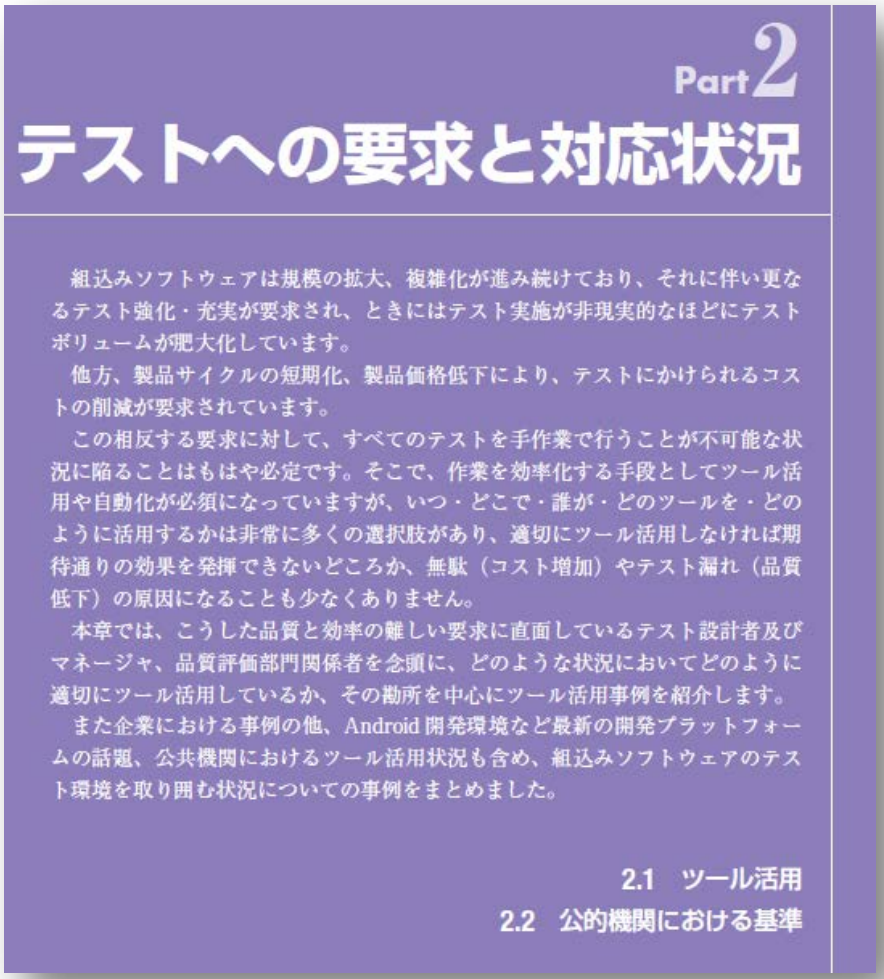
限界：テストボリュームの爆発

限界：かけられるコストの制約

品質要求とコストのバランス

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

Part 2　テストへの要求と対応状況


Part 2
テストへの要求と対応状況

組込みソフトウェアは規模の拡大、複雑化が進み続けており、それに伴い更なるテスト強化・充実が要求され、ときにはテスト実施が非現実的なほどにテストボリュームが肥大化しています。

他方、製品サイクルの短期化、製品価格低下により、テストにかけられるコストの削減が要求されています。

この相反する要求に対して、すべてのテストを手作業で行うことが不可能な状況に陥ることはもはや必定です。そこで、作業を効率化する手段としてツール活用や自動化が必須になっていますが、いつ・どこで・誰が・どのツールを・どのように活用するかは非常に多くの選択肢があり、適切にツール活用しなければ期待通りの効果を発揮できないどころか、無駄（コスト増加）やテスト漏れ（品質低下）の原因になることも少なくありません。

本章では、こうした品質と効率の難しい要求に直面しているテスト設計者及びマネージャ、品質評価部門関係者を念頭に、どのような状況においてどのように適切にツール活用しているか、その勘所を中心にツール活用事例を紹介します。

また企業における事例の他、Android 開発環境など最新の開発プラットフォームの話題、公共機関におけるツール活用状況も含め、組込みソフトウェアのテスト環境を取り囲む状況についての事例をまとめました。

2.1　ツール活用
2.2　公的機関における基準

テストボリューム肥大化

テスト期間短縮要求

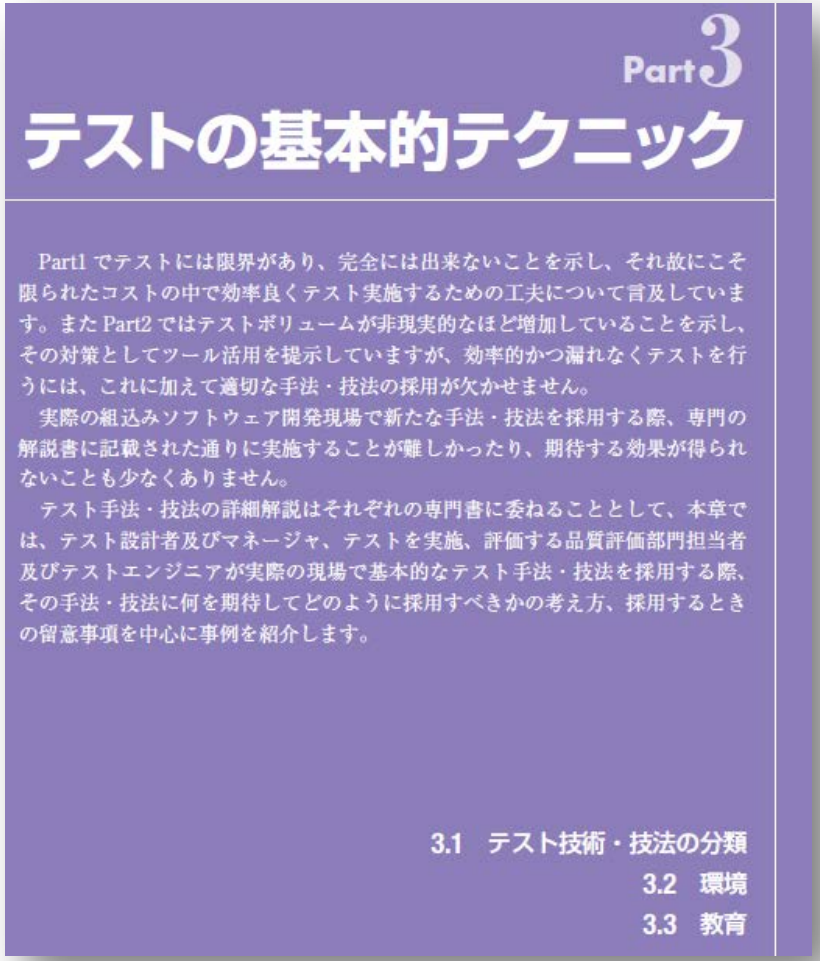
ツールによる自動化・効率化

ツール導入時の課題

Android開発のテスト環境

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

Part 3　テストの基本的テクニック


Part 3
テストの基本的テクニック

Part1 でテストには限界があり、完全には出来ないことを示し、それ故にこそ限られたコストの中で効率良くテスト実施するための工夫について言及しています。また Part2 ではテストボリュームが非現実的なほど増加していることを示し、その対策としてツール活用を提示していますが、効率的かつ漏れなくテストを行うには、これに加えて適切な手法・技法の採用が欠かせません。

実際の組込みソフトウェア開発現場で新たな手法・技法を採用する際、専門の解説書に記載された通りに実施することが難しかったり、期待する効果が得られないことも少なくありません。

テスト手法・技法の詳細解説はそれぞれの専門書に委ねることとして、本章では、テスト設計者及びマネージャ、テストを実施、評価する品質評価部門担当者及びテストエンジニアが実際の現場で基本的なテスト手法・技法を採用する際、その手法・技法に何を期待してどのように採用すべきかの考え方、採用するときの留意事項を中心に事例を紹介します。

3.1　テスト技術・技法の分類
3.2　環境
3.3　教育

適切な手法･技法の採用

手法･技法採用時の留意事項

テストエンジニア育成

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.

ご清聴ありがとうございました

Copyright © 2012 IPA, All Rights Reserved.